

# AAU

AMERICAN ANDRAGOGY  
UNIVERSITY





# Mantenimiento Industrial

Tecnología de Máquinas  
4º Ingeniería Industrial

M<sup>a</sup> Belén Muñoz Abella

Área de Ingeniería Mecánica

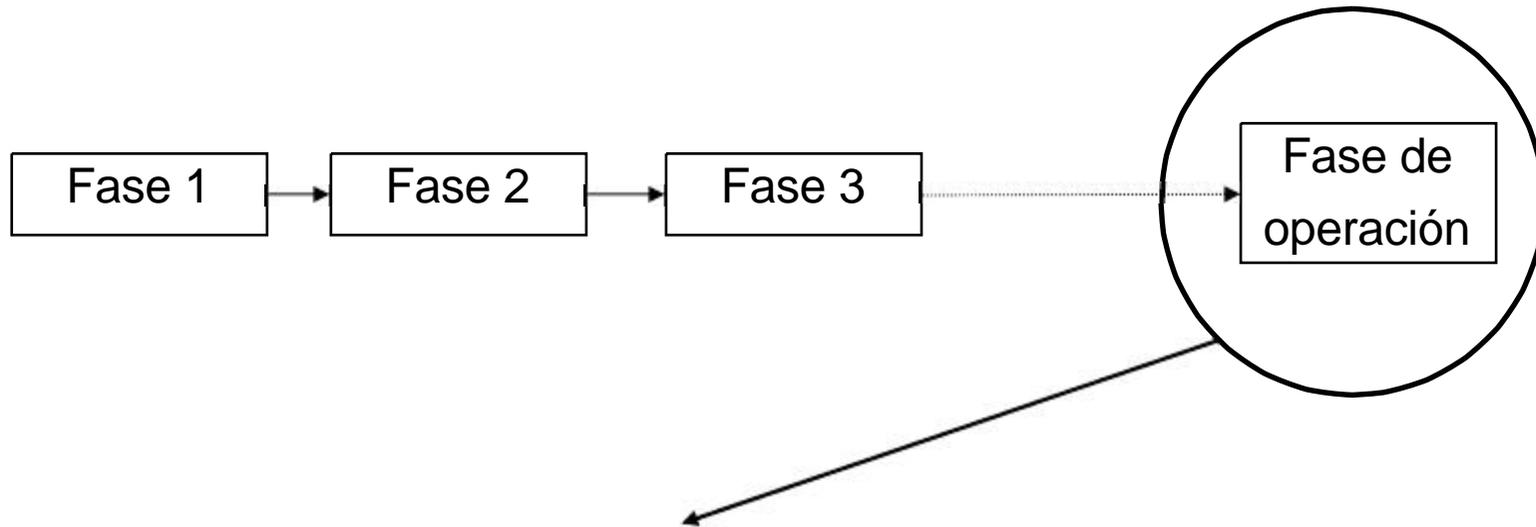
## MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

- Introducción e historia
- Concepto y objetivos
- Tipos
- Definiciones
- Planificación
- Técnicas



# INTRODUCCIÓN

Sistema productivo de un bien o servicio



Fallos, interrupción temporal o definitiva del sistema

El sólo paso del tiempo provoca en algunos bienes disminuciones evidentes de sus cualidades



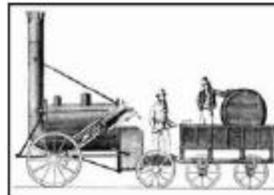
# HISTORIA

Prehistoria



Afilar herramientas y armas  
Coser y remendar las pieles,...

Icono  
evolución



Mantenimiento de urgencia  
(correctivo)  
Muchos y graves accidentes

R Ind



Concepto de mantenimiento  
preventivo (evitar interrupciones en  
el proceso productivo)

1925



Mantenimiento predictivo

Años 60

Mantenimiento Total  
Calidad  
Seguridad e Higiene  
Medio Ambiente

Actualmente



## CONCEPTO DE MANTENIMIENTO

*“Control constante de las instalaciones y/o componentes, así como del conjunto de trabajos de reparación y revisión necesarios para garantizar el funcionamiento regular y el buen estado de conservación de un sistema”*

## OBJETIVOS

- Evitar, reducir y, en su caso, reparar los fallos
- Disminuir la gravedad de los fallos que no se puedan evitar
- Evitar detenciones inútiles o paros de máquina
- Evitar accidentes
- Conservar los bienes productivos en condiciones seguras de operación
- Reducir costes
- Prolongar la vida útil de los bienes



## TIPOS DE MANTENIMIENTO

- *Mantenimiento correctivo*
- *Mantenimiento preventivo*
- *Mantenimiento predictivo*
- *Mantenimiento productivo total*

*Total Productive Maintenance (TPM)*



**MANTENIMIENTO CORRECTIVO**

*Conjunto de actividades de reparación y sustitución de elementos deteriorados, que **se realiza cuando aparece el fallo***

**➔ APLICABLE A SISTEMAS:**

- Complejos (ej: electrónicos)
- En los que es imposible predecir los fallos
- Admiten ser interrumpidos en cualquier momento y con cualquier duración

**➔ INCONVENIENTES:**

- El fallo puede aparecer en el momento más inoportuno
- Fallos no detectados a tiempo pueden causar daños irreparables en otros elementos
- Gran capital en piezas de repuesto



## MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Conjunto de actividades **programadas de antemano** encaminadas a reducir la frecuencia y el impacto de los fallos



### **INCONVENIENTES:**

- Cambios innecesarios (del propio elemento o de otros)
- Problemas iniciales de operación
- Coste de inventarios medio
- Mano de obra
- Caso de mantenimiento no efectuado



### **PLANIFICACIÓN**

- Definir los elementos objeto de mantenimiento
- Establecer su vida útil
- Determinar los trabajos a realizar en cada caso
- Agrupar temporalmente los trabajos



**MANTENIMIENTO PREDICTIVO**

*Conjunto de actividades de **seguimiento y diagnóstico continuo** que permiten una **intervención correctora inmediata** como consecuencia de la detección de algún síntoma de fallo*



**MONITORIZACIÓN DE DIFERENTES PARÁMETROS**

(Presión, Temperatura, Vibraciones, Ruido, etc.)



**VENTAJAS**

- Registro de la historia de los análisis
- Programación del mantenimiento en el momento más adecuado



MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL  
“TOTAL PRODUCTIVE MAINTENANCE (TPM)”

- **MANTENIMIENTO:** Mantener las instalaciones siempre en buen estado
- **PRODUCTIVO:** Enfocado al aumento de productividad
- **TOTAL:** Implica a la totalidad del personal (no sólo al servicio de mantenimiento)

*El operario realiza pequeñas tareas de mantenimiento de su puesto  
(reglaje, inspección, situación pequeñas cosas,...)*

*Las tareas de mantenimiento se realizan por todo el personal en  
pequeños grupos, con una dirección motivadora*



CONCEPTOS ASOCIADOS AL  
MANTENIMIENTO

- Fiabilidad y tasa de fallos
- Mantenibilidad y tasa de reparación
- Disponibilidad



## CONCEPTO DE FIABILIDAD

*“Probabilidad de que un bien funcione adecuadamente durante un periodo determinado bajo condiciones operativas específicas”*

### • Definiciones

**T:** Vida del componente (variable aleatoria)

**F(t):** Función de distribución acumulada

$$F(t) = P(T \leq t)$$

**f(t):** Función de densidad de probabilidades

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt}$$

**R(t):** *Función de fiabilidad o de supervivencia*

$$R(t) = P(T > t) = 1 - F(t)$$



Tasa de fallos

$$P\{t < T \leq t + s | T > t\} = \frac{P\{t < T \leq t + s\}}{P\{T > t\}} = \frac{F(t + s) - F(t)}{R(t)}$$

$$f(t) = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{F(t + s) - F(t)}{s} = \frac{f(t)}{R(t)}$$

FUNCIÓN TASA DE FALLOS

FUNCIÓN DE RIESGO

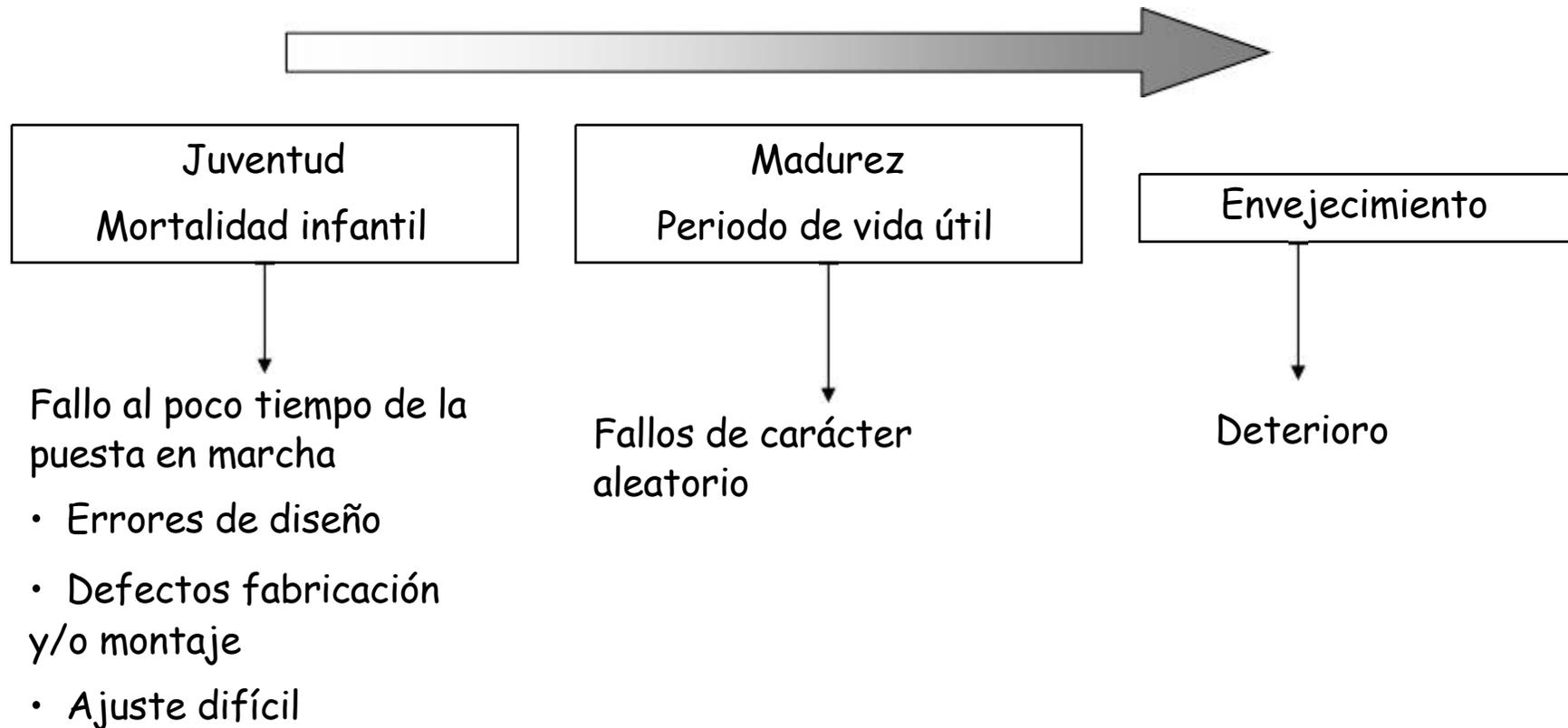
TASA INSTANTÁNEA DE FALLOS

*“Probabilidad de fallo del componente en un tiempo infinitamente pequeño cuando en el instante t anterior estaba operativo (Para valores suficientemente pequeños de t)”*

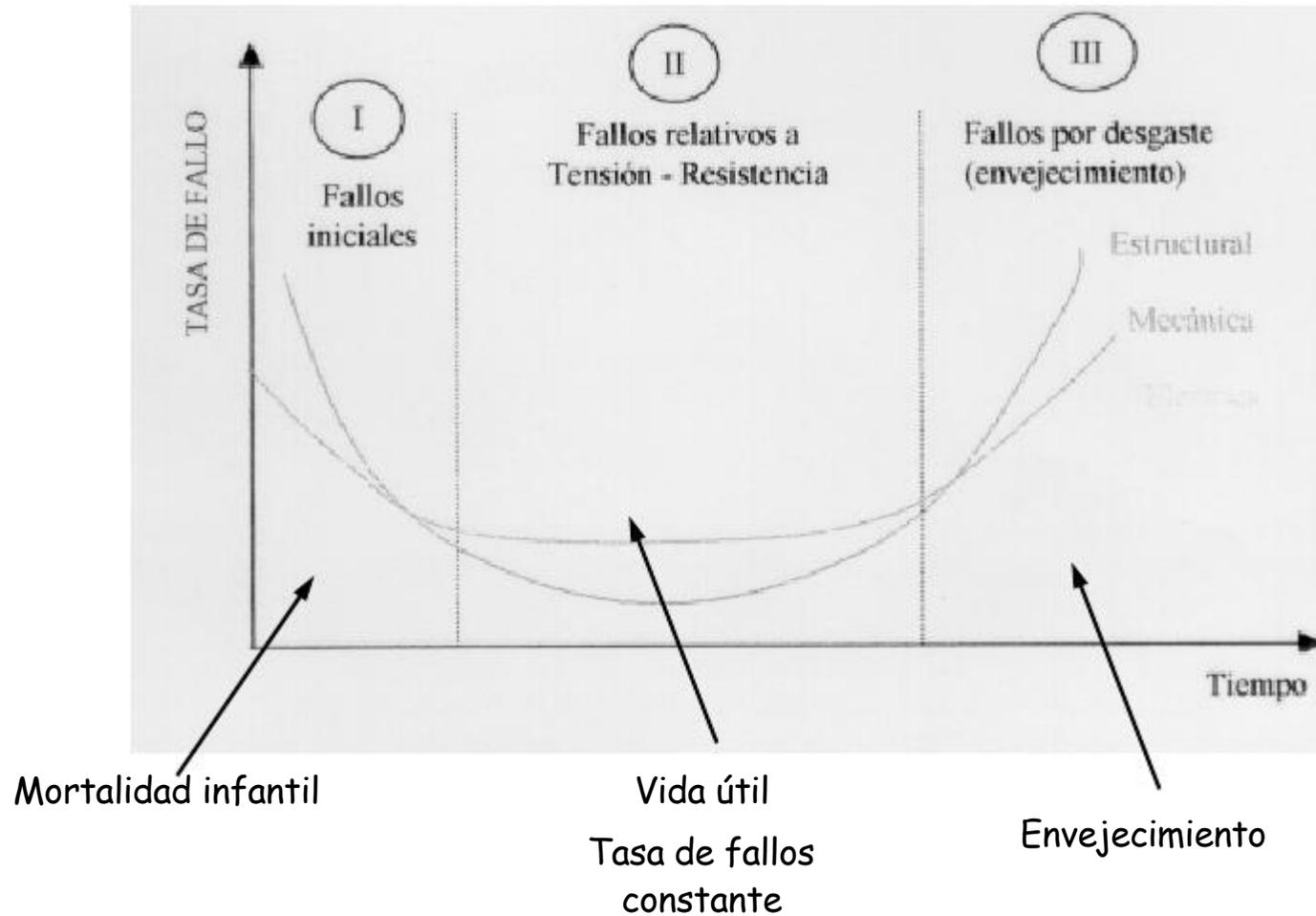


Evolución de la tasa de fallos. "Curva de bañera"

**ETAPAS EN LA VIDA DE UN EQUIPO**



Evolución de la tasa de fallos. "Curva de bañera"



Modelos matemáticos de distribución de probabilidad de fallos

**TASA DE FALLOS CONSTANTE**

$$L(t) = L$$

La probabilidad de que una unidad falle es independiente de cuánto tiempo haya estado funcionando

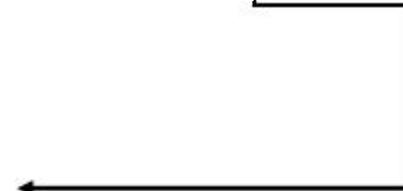
La unidad no presenta síntomas de envejecimiento

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t}$$

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$$

$$R(t) = e^{-\lambda t}$$

LEY EXPONENCIAL



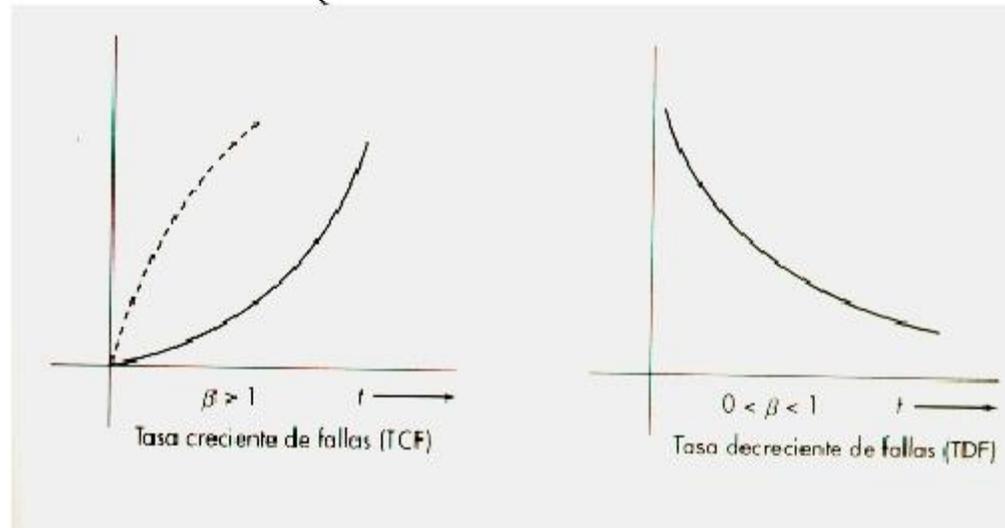
Modelos matemáticos de distribución de probabilidad de fallos

**TASA DE FALLOS CRECIENTES O DECRECIENTES**

$$\lambda(t) = \alpha \beta t^{\beta - 1}, \text{ siendo } \alpha > 0 \text{ y } \beta > 0$$

Cuando  $\beta > 1$ ,  $\lambda(t)$  es creciente

Cuando  $0 < \beta < 1$ ,  $\lambda(t)$  es decreciente



Modelos matemáticos de distribución de probabilidad de fallos

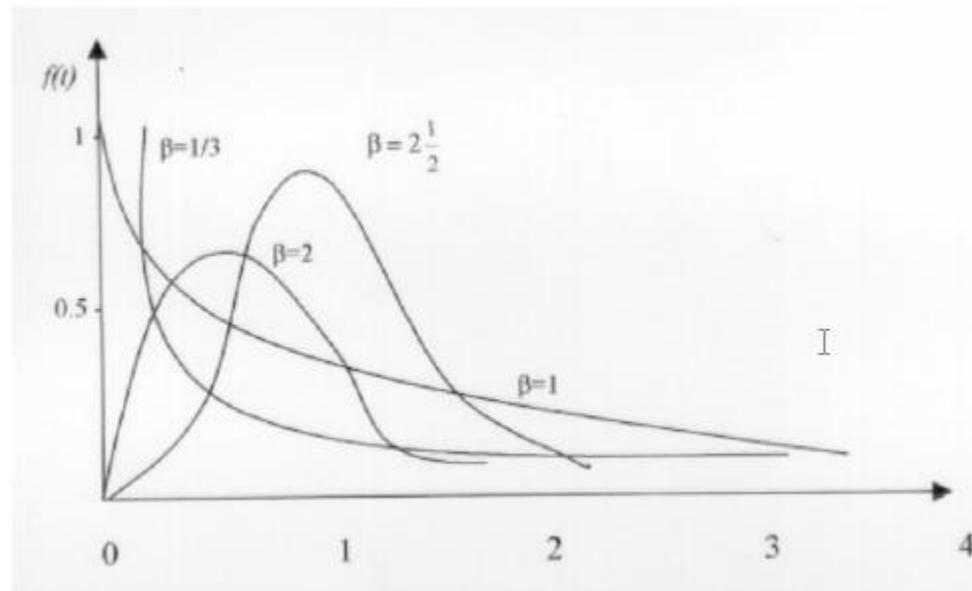
**TASA DE FALLOS CRECIENTES O DECRECIENTES**

$$\lambda(t) = \alpha \beta t^{\beta - 1}, \text{ siendo } \alpha > 0 \text{ y } \beta > 0$$

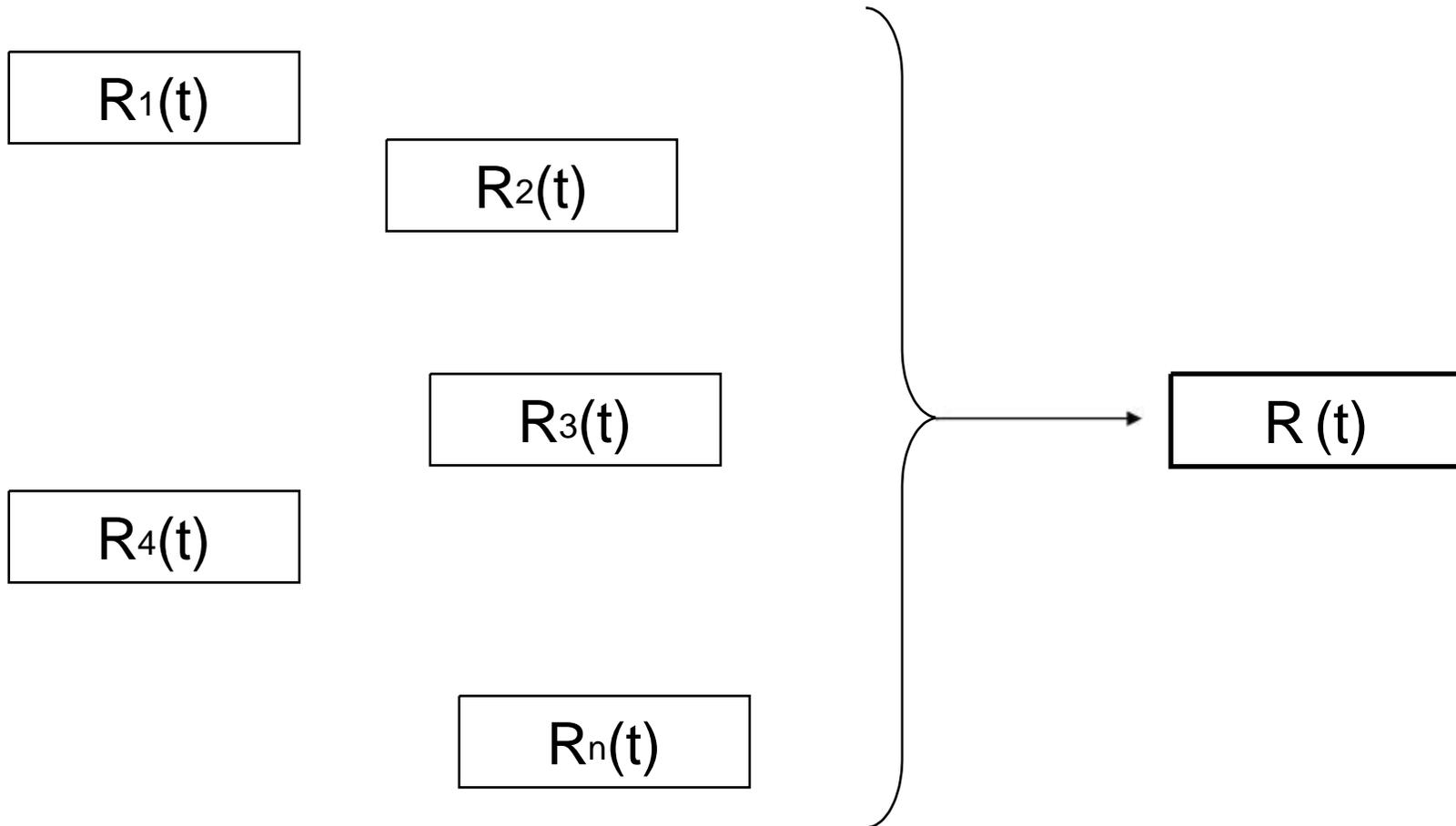
$$R(t) = e^{-\alpha t^\beta} \text{ para toda } t \geq 0$$

$$F(t) = 1 - e^{-\alpha t^\beta} \text{ para toda } t \geq 0$$

DENSIDADES DE LA  
DISTRIBUCIÓN DE  
WEIBULL

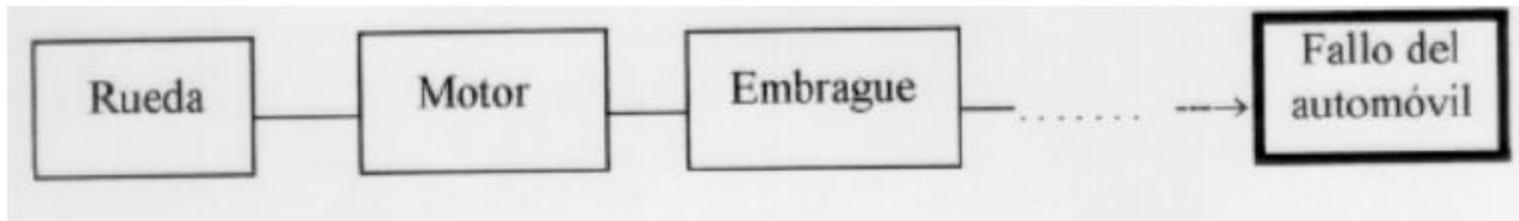


FIABILIDAD DE SISTEMAS



FIABILIDAD DE SISTEMAS. Sistemas en serie

Sistemas en los que el fallo del mismo equivale al de uno sólo de sus componentes. El sistema funciona si todos los componentes funcionan correctamente



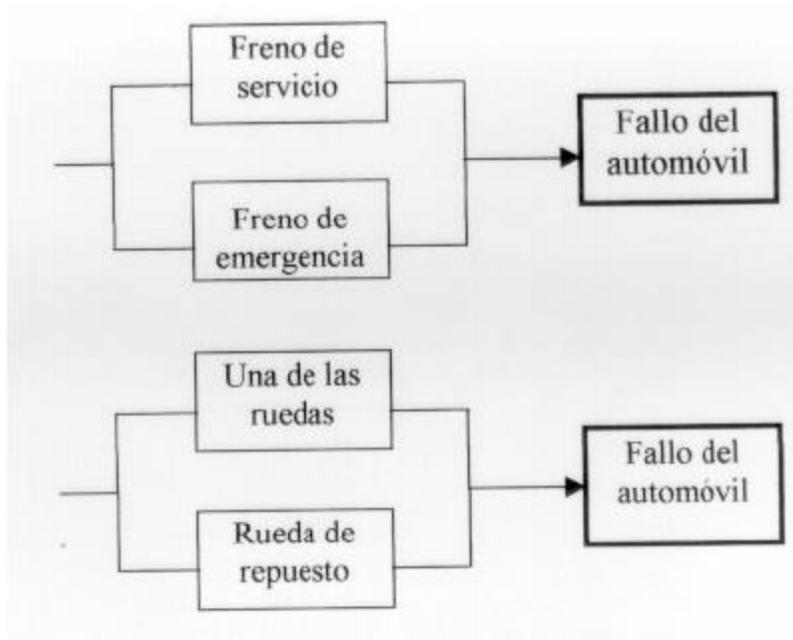
*Para n componentes*

$$R(t) = \prod_{i=1}^n R_i(t)$$



FIABILIDAD DE SISTEMAS. Sistemas en paralelo

Sistemas en los que el sistema falla si todos los componentes fallan en su operación



Para  $n$  componentes

$$F(t) = F_1(t) \cdot F_2(t) \cdot \dots \cdot F_n(t)$$

$$R(t) = 1 - F(t)$$



$$R(t) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i(t))$$



## Sistemas en paralelo. Redundancia

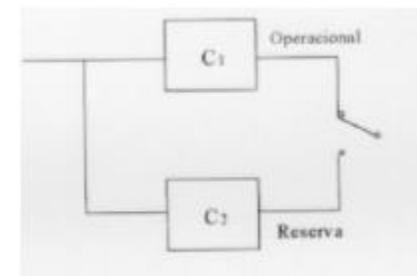
La REDUNDANCIA es una característica inherente al modelo paralelo

### Redundancia activa

Todos los elementos redundantes están activos simultáneamente

### Redundancia secuencial (stand-by)

El elemento redundante funciona sólo como consecuencia del elemento primario



$$R(t) = R_1(t) + F(t_1) \cdot R_2(t-t_1)$$



OTRAS MEDIDAS DE LA FIABILIDAD

Tiempo medio entre ciclos de mantenimiento o el tiempo medio entre dos fallos consecutivos (*Mean Time Between Failures; MTBF*)

$$MTBF = \frac{T}{n}$$

*T*: Periodo de tiempo

$\bar{n}$ : Número medio de averías

N: Número de componentes

$$\bar{n} = \frac{\sum_{i=0}^N n_i}{N}$$

Tiempo medio hasta la avería (*Mean Time to Failure; MTTF*)

$$MTTF = \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{N}$$

*t*: Tiempo de funcionamiento hasta que se produce la avería

N: Número de elementos idénticos ensayados



## CONCEPTO DE MANTENIBILIDAD

*“Característica inherente al elemento, asociada a su capacidad de ser recuperado para el servicio cuando se realiza la tarea de mantenimiento necesaria”*

• **Definiciones**

**T:** Duración de la intervención

**M(t):** Función de mantenibilidad

$$$M(t) = P(T < t)$$$

**f(t):** Función de densidad de probabilidades

$$g(t) = \frac{dM(t)}{dt}$$

**∞(t):** Función de tasa de reparación

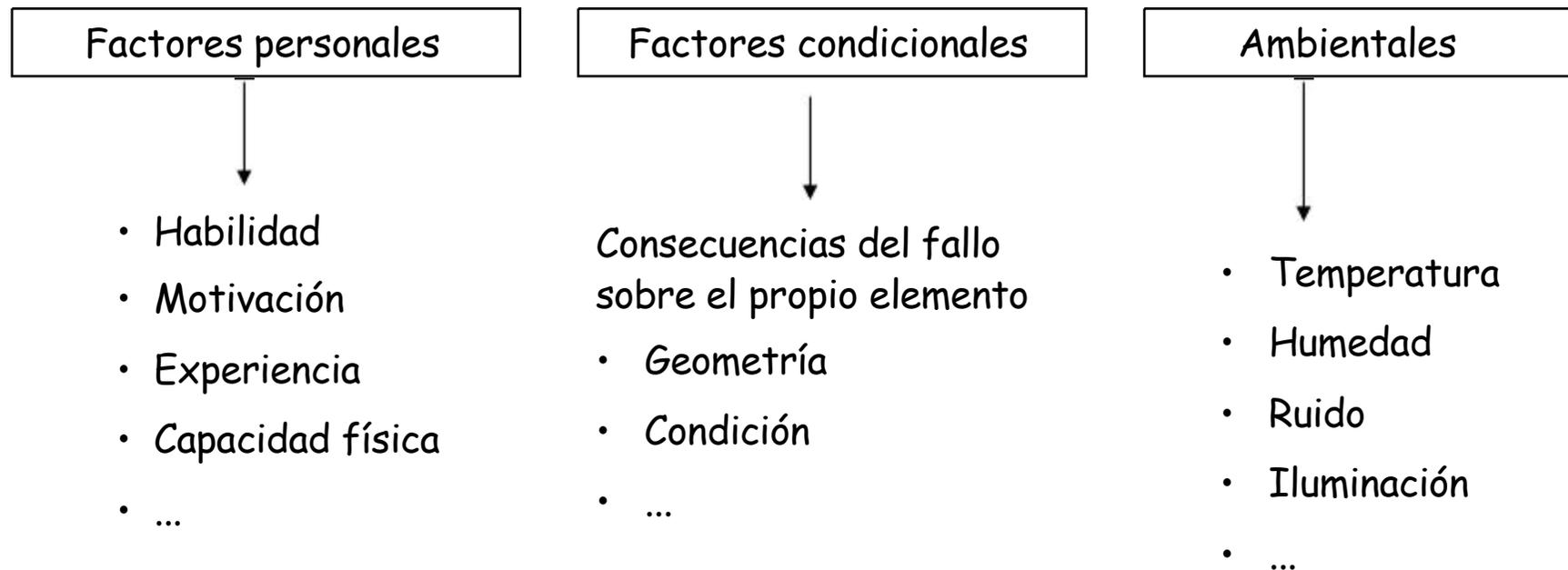
$$$\mu(t) = \frac{g(t)}{1 - M(t)}$$$



## OTRAS MEDIDAS DE LA MANTENIBILIDAD

Media de los tiempos técnicos de reparación (MTTR)

$$T = f(\text{factores personales, condicionales y ambientales})$$



## CONCEPTO DE DISPONIBILIDAD

*“Probabilidad de un sistema de estar en funcionamiento o listo para funcionar en el momento requerido”*

El sistema no debe tener fallos

En caso de haber sufrido fallos, han sido reparados en un tiempo menor que el permitido para su mantenimiento

MTBF =  $1 / \lambda$  (Tiempo medio entre fallos)

MTTR =  $1 / \alpha$  (Tiempo medio de reparación)

A (Availability): Disponibilidad del sistema

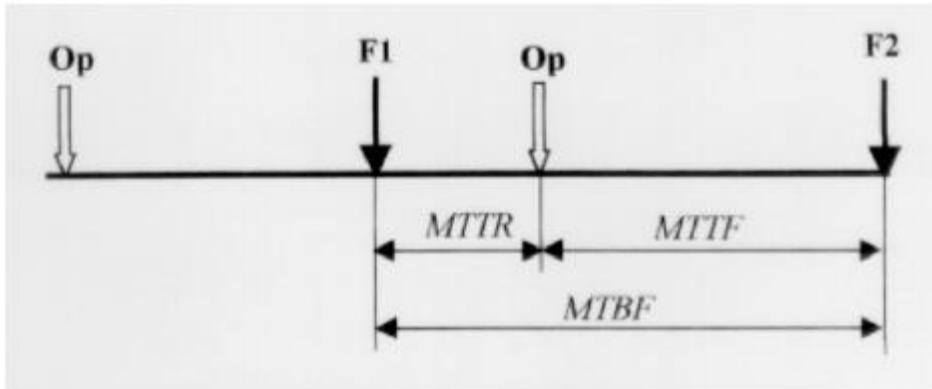
$$A(t) = \frac{\lambda}{\lambda + \alpha}$$

$$\alpha(t) = \alpha$$



## CONCEPTO DE DISPONIBILIDAD

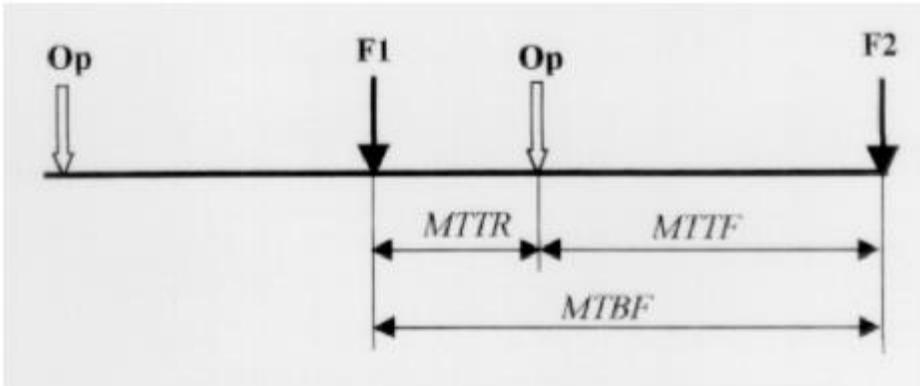
$MTBF = 1 / \lambda$	(Tiempo medio entre fallos)	$(t) = \perp$
$MTTR = 1 / \alpha$	(Tiempo medio de reparación)	$\infty (t) = \infty$
A (Availability):	Disponibilidad del sistema	



$$A = \frac{\textit{Tiempo total en condiciones de servicio}}{\textit{Tiempo total del intervalo estudiado}}$$



CONCEPTO DE DISPONIBILIDAD



$$A = \frac{\text{Tiempo total en condiciones de servicio}}{\text{Tiempo total del intervalo estudiado}}$$

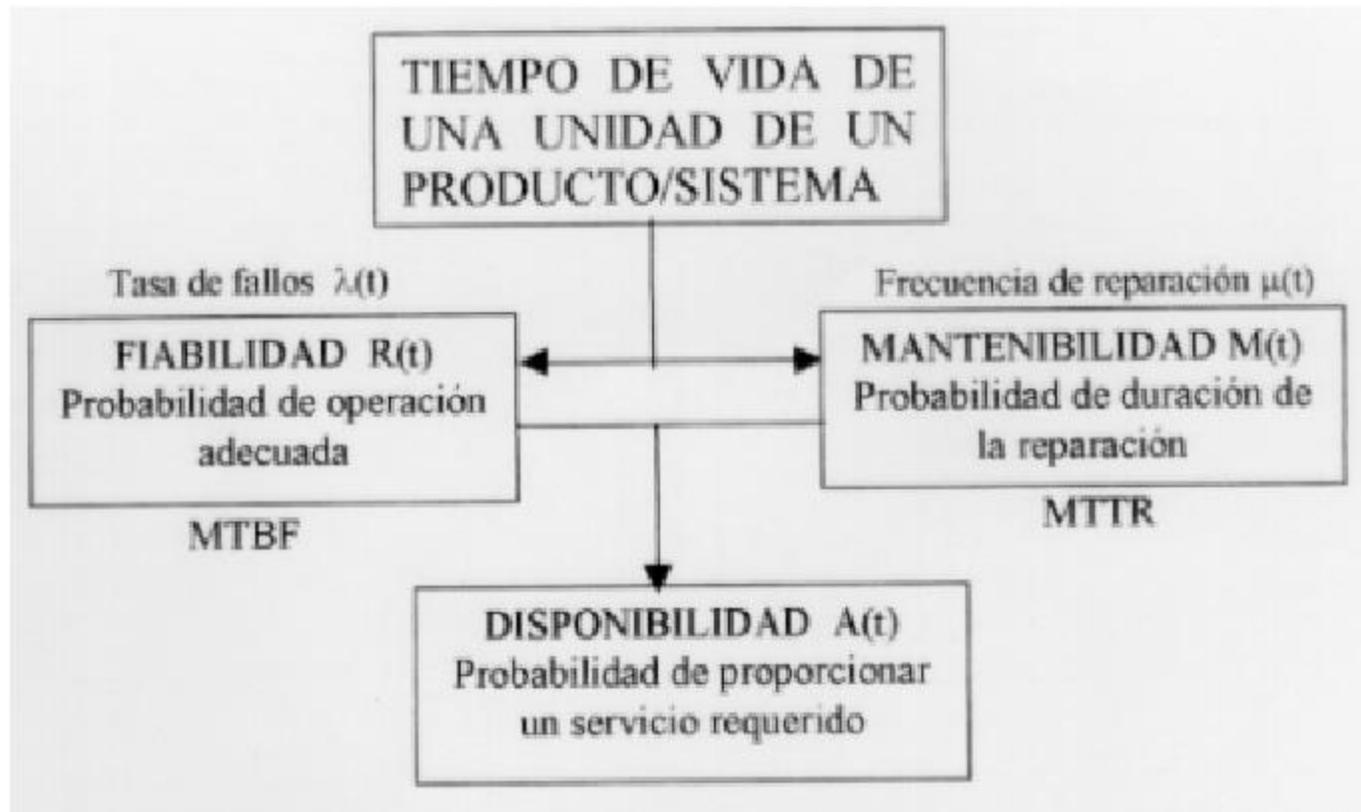
$$A = \frac{K \cdot MTBF}{K \cdot (MTBF + MTTR)} = \frac{1}{1 + \frac{MTTR}{MTBF}} = \frac{\infty}{\infty + \frac{MTTR}{MTBF}}$$

K: Número de ciclos - reparación

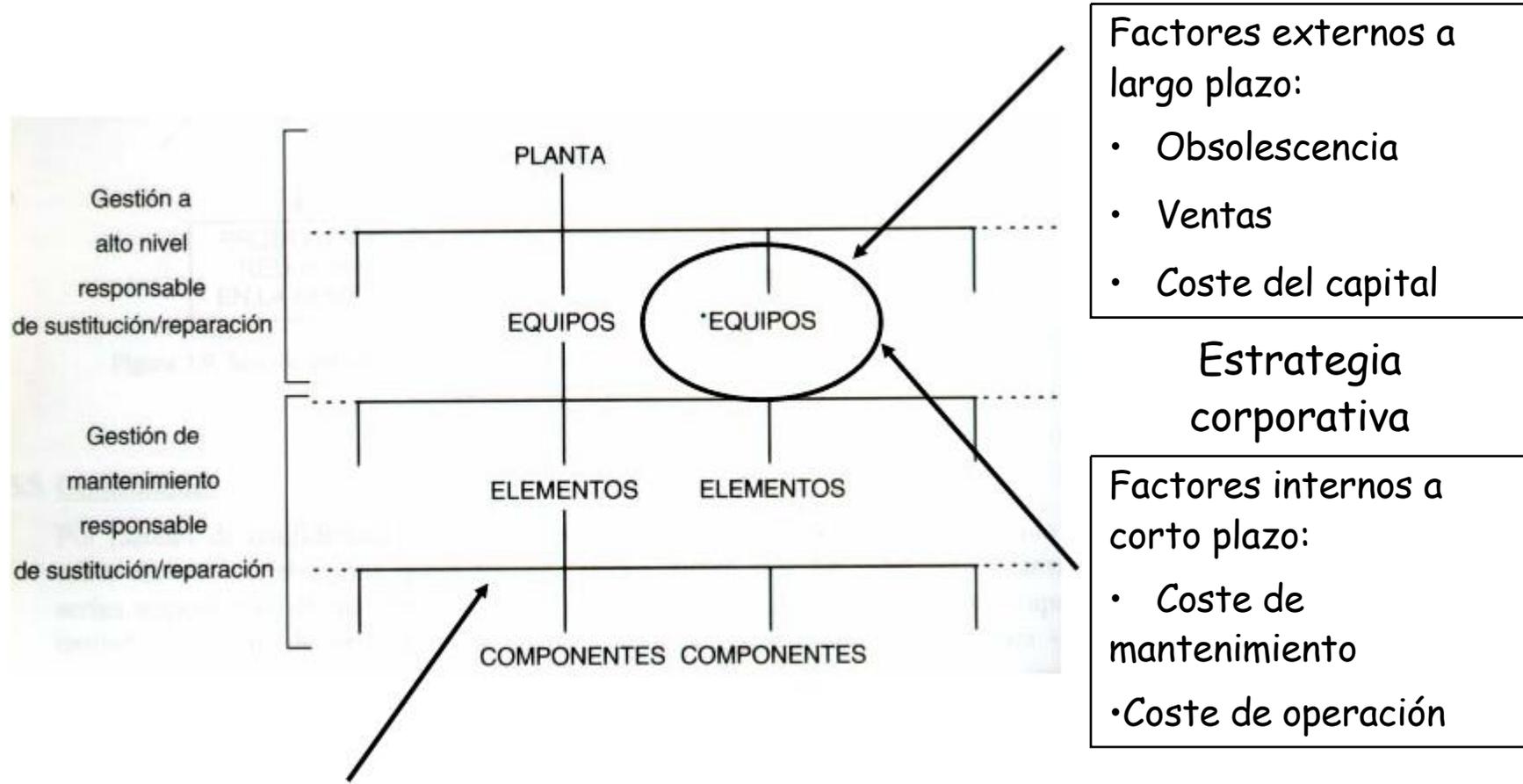
Si MTTR = 0      A = 100 %



**FIABILIDAD – MANTENIBILIDAD - DISPONIBILIDAD**



# PLANIFICACIÓN DEL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL



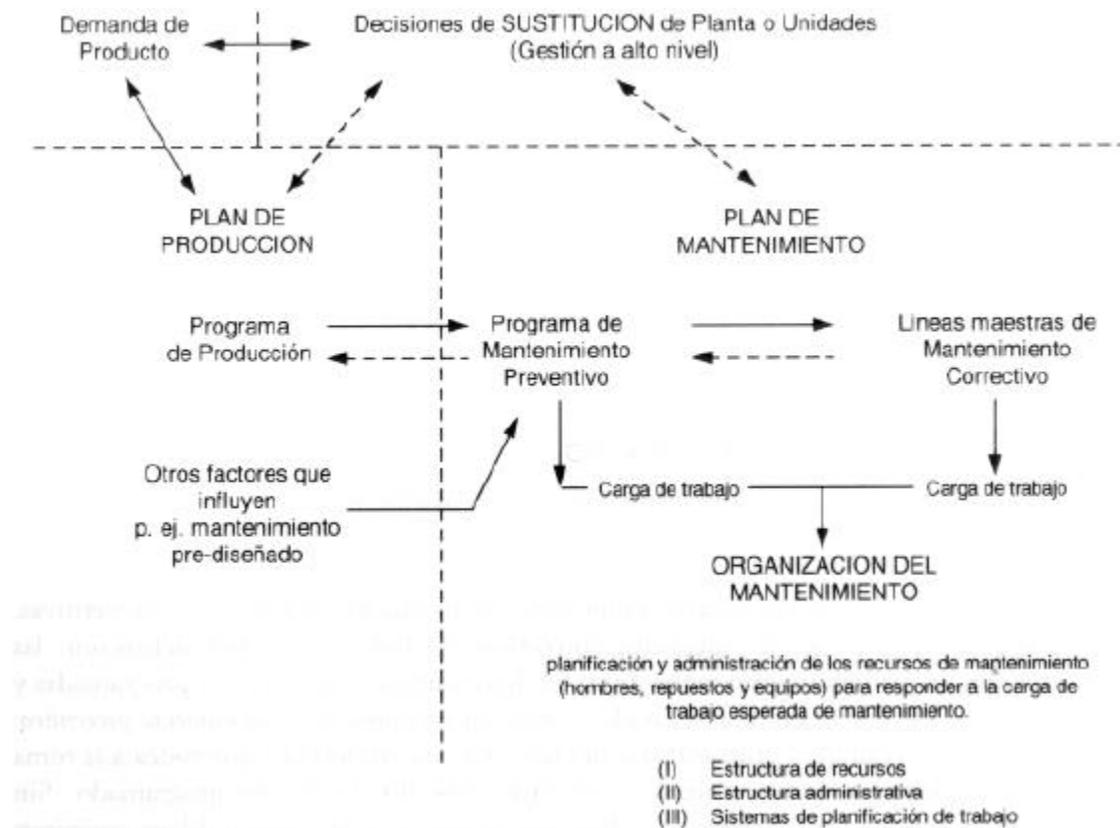
Plan de mantenimiento (reparación, modificación, sustitución de piezas..)



# PLAN DE MANTENIMIENTO. LÍNEAS GENERALES

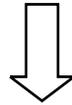
Programa de mantenimiento preventivo

Líneas maestras del mantenimiento correctivo



## POLÍTICAS DE MANTENIMIENTO: PREVENTIVO Y CORRECTIVO

Combinación de *políticas de mantenimiento* para cada equipo



### *PLAN DE MANTENIMIENTO*

- Política de reparación o sustitución a intervalo fijo antes del fallo
  - Política de mantenimiento según condición
  - Política de mantenimiento de oportunidad
- Política de operación hasta fallo y mantenimiento correctivo
  - Política de mantenimiento modificativo



## 1.- Reparación o sustitución a intervalo fijo antes del fallo

Para modelos de fallo claramente dependientes del tiempo

Se espera a que se agote la vida del elemento

Costes totales de sustitución mucho menores que los de fallo y reparación



***ADECUADO PARA ELEMENTOS DE FÁCIL SUSTITUCIÓN***



- Cuanto más complicado es un elemento hay menos probabilidad de que su patrón de fallo dependa del tiempo
- Los elementos complejos son caros de sustituir o reparar y tienen problemas después de la manipulación



## 2.- Mantenimiento según condición

Para determinar cuando se debe realizar el mantenimiento correctivo

Se monitoriza algún parámetro característico del funcionamiento del elemento



**SU CONVENIENCIA Y PERIORIZIDAD DEPENDEN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE DETERIORO DEL EQUIPO Y DE LOS COSTES DE MONITORIZACIÓN**



- Equipos de fácil sustitución: Se comprueban a intervalos cortos con poco coste
- Equipos de difícil sustitución: Se comparan los costes de monitorización con los de reparación y pérdidas por indisponibilidad



### 3.- Mantenimiento de oportunidad

Acciones de mantenimiento realizadas cuando **en otros elementos:**

Se ha producido el fallo y hay que para para reparación

Se han realizado reparaciones o sustituciones a intervalo fijo o según el estado

***CONVENIENTE PARA ELEMENTOS DE DIFÍCIL SUSTITUCIÓN O EN FUNCIONAMIENTO CONTINUO, CON ALTOS COSTES DE PARADA Y/O INDISPONIBILIDAD***

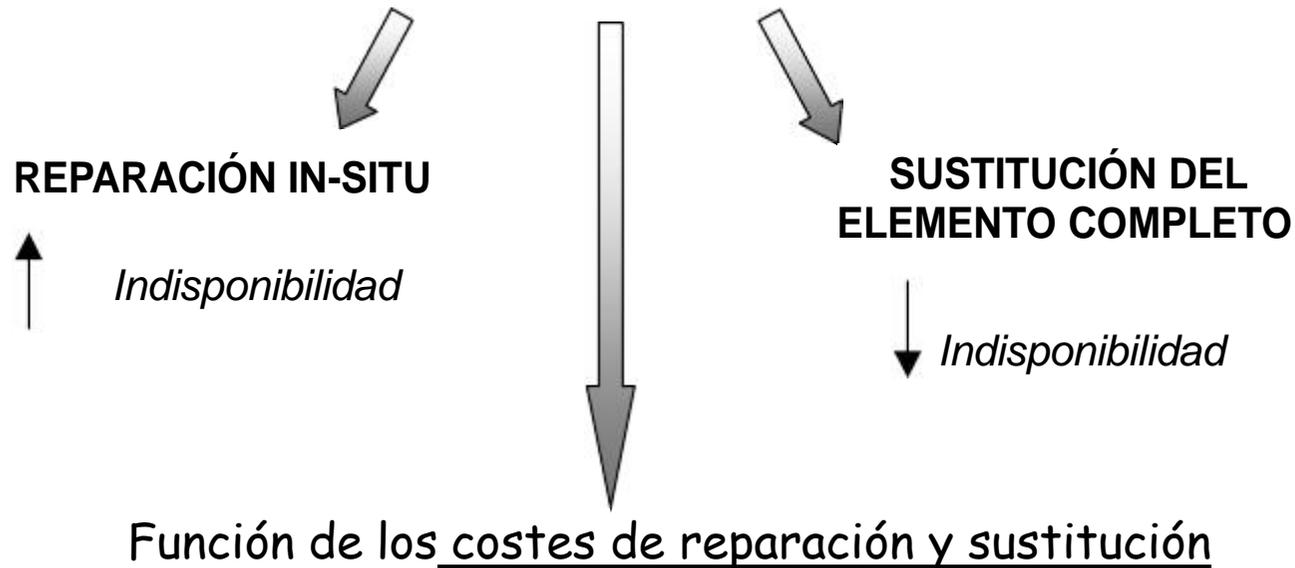


4.- Operación hasta fallo y mantenimiento correctivo

**Mantenimiento correctivo**

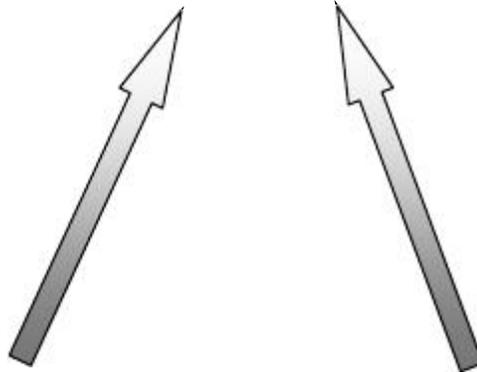
- Cuando un elemento falla
- Basado en la condición

ELECCIÓN DEL MÉTODO MÁS ECONÓMICO PARA LA RECUPERACIÓN DEL EQUIPO



5.- Mantenimiento modificativo

INTENTA ELIMINAR LAS CAUSAS DEL FALLO



Ingeniería

Mantenimiento



## ETAPAS DEL PLAN DE MANTENIMIENTO (I)

1. Clasificación e identificación de equipos
2. Recogida de información
  - i. Modelo de producción (continuo, fluctuante, intermitente,...)
  - ii. Naturaleza del proceso
  - iii. Recomendaciones de los fabricantes
  - iv. Características de fallo
  - v. Características de reparación
  - vi. Factores económicos
  - vii. Factores de seguridad y medio ambiente

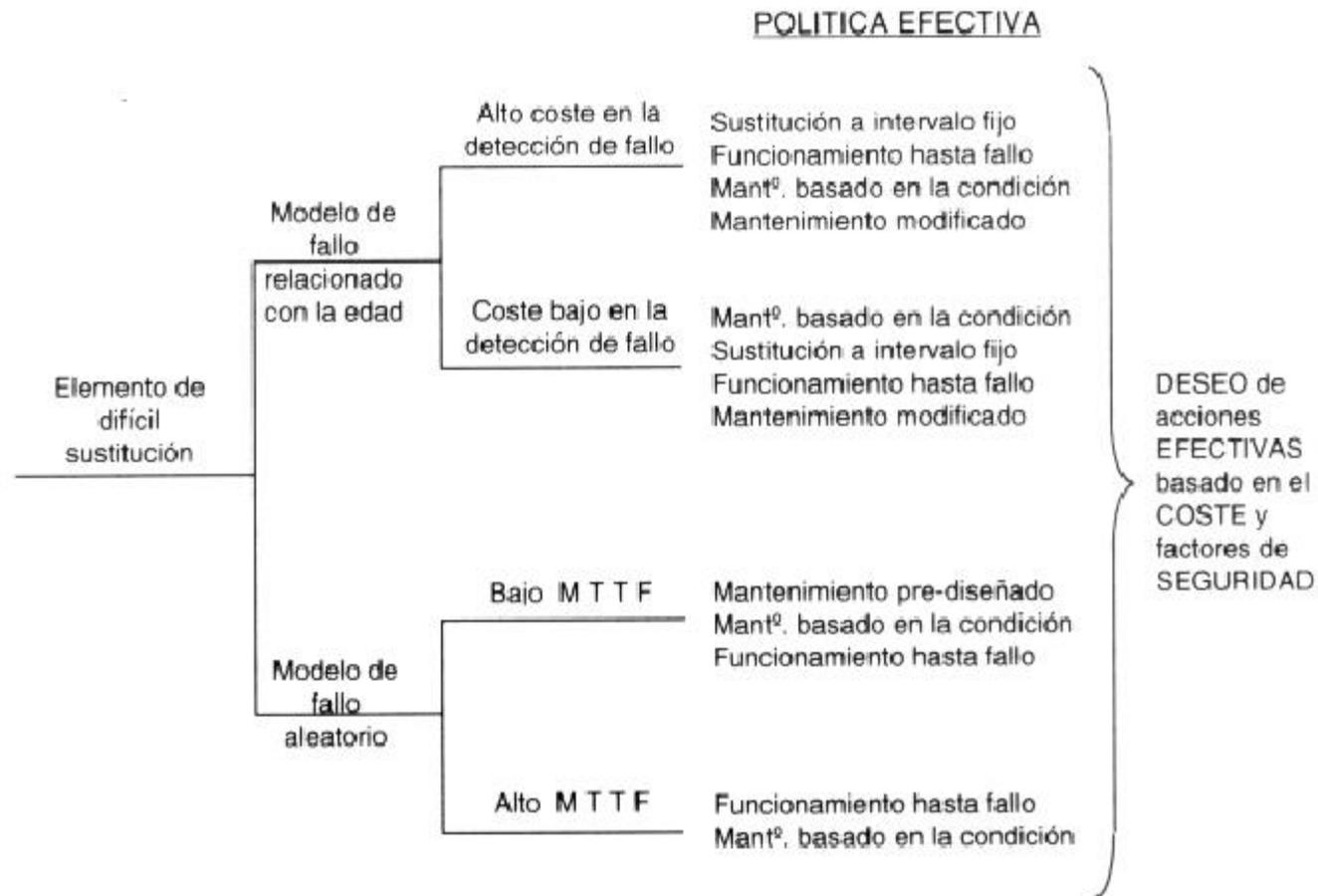


## ETAPAS DEL PLAN DE MANTENIMIENTO (II)

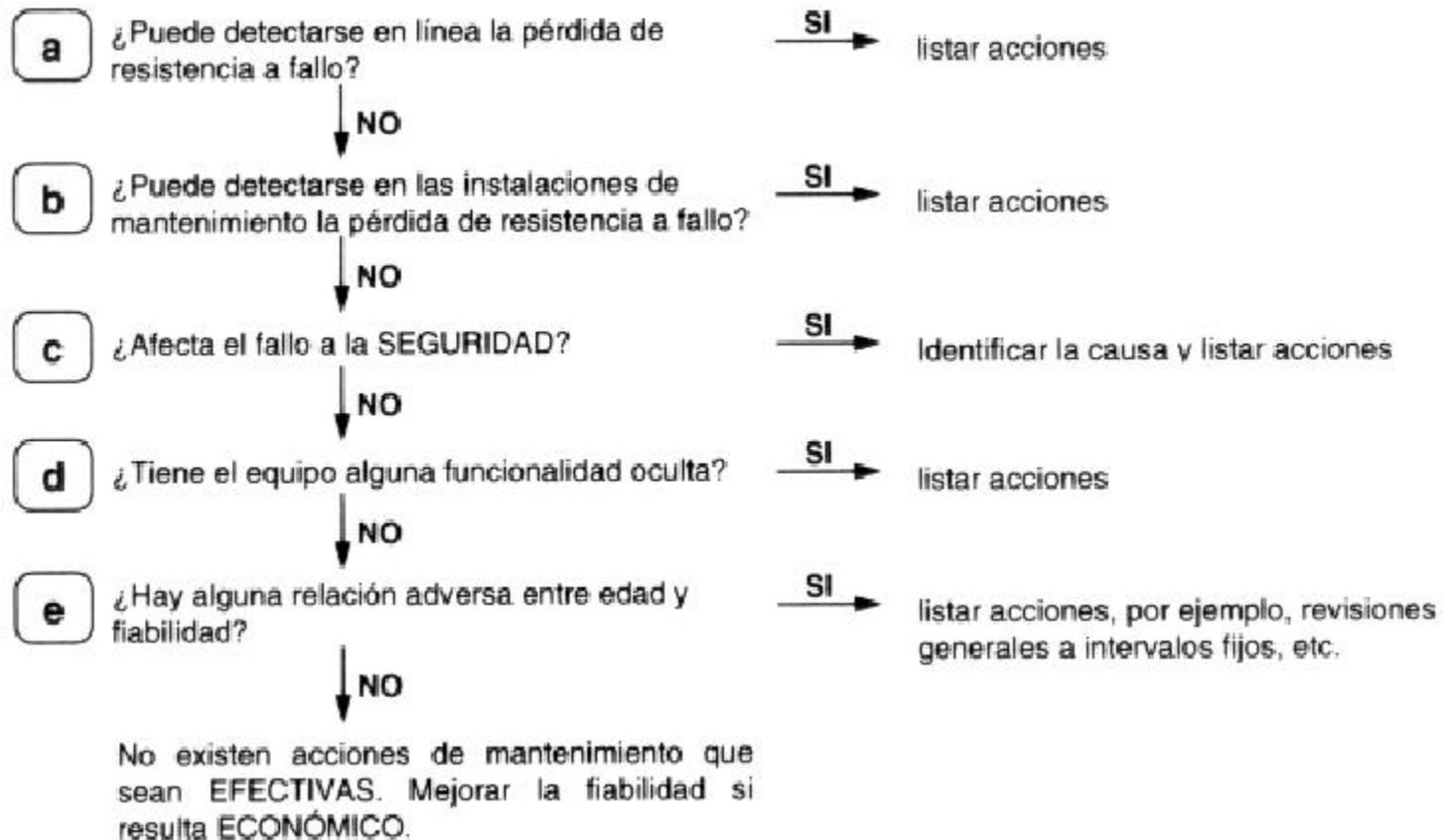
3. Selección de la política individual
  - i. Sustituciones a intervalo fijo: Equipos de fácil sustitución, de bajo coste
  - ii. Mantenimiento basado en condición: Equipos de difícil sustitución, de elevado coste
  - iii. Equipos con alto coste de mantenimiento: Conveniencia de modificar el diseño
  - iv. No es efectivo el mantenimiento preventivo ni el modificativo: El equipo operará hasta su fallo
  
4. Programa de mantenimiento preventivo total
  
5. Líneas generales del programa de mantenimiento correctivo



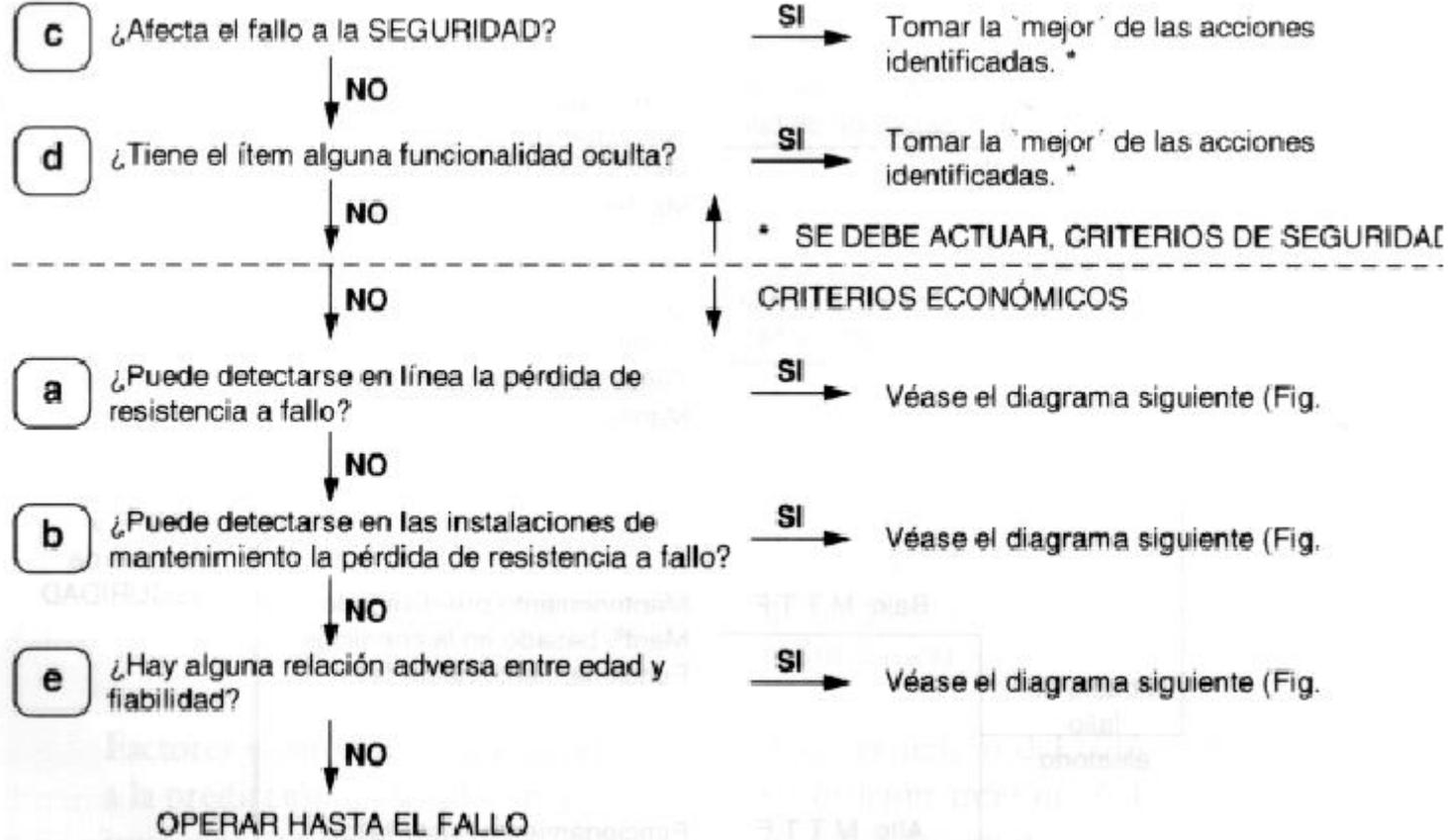
# MANTENIMIENTO EN PLANTAS COMPLEJAS



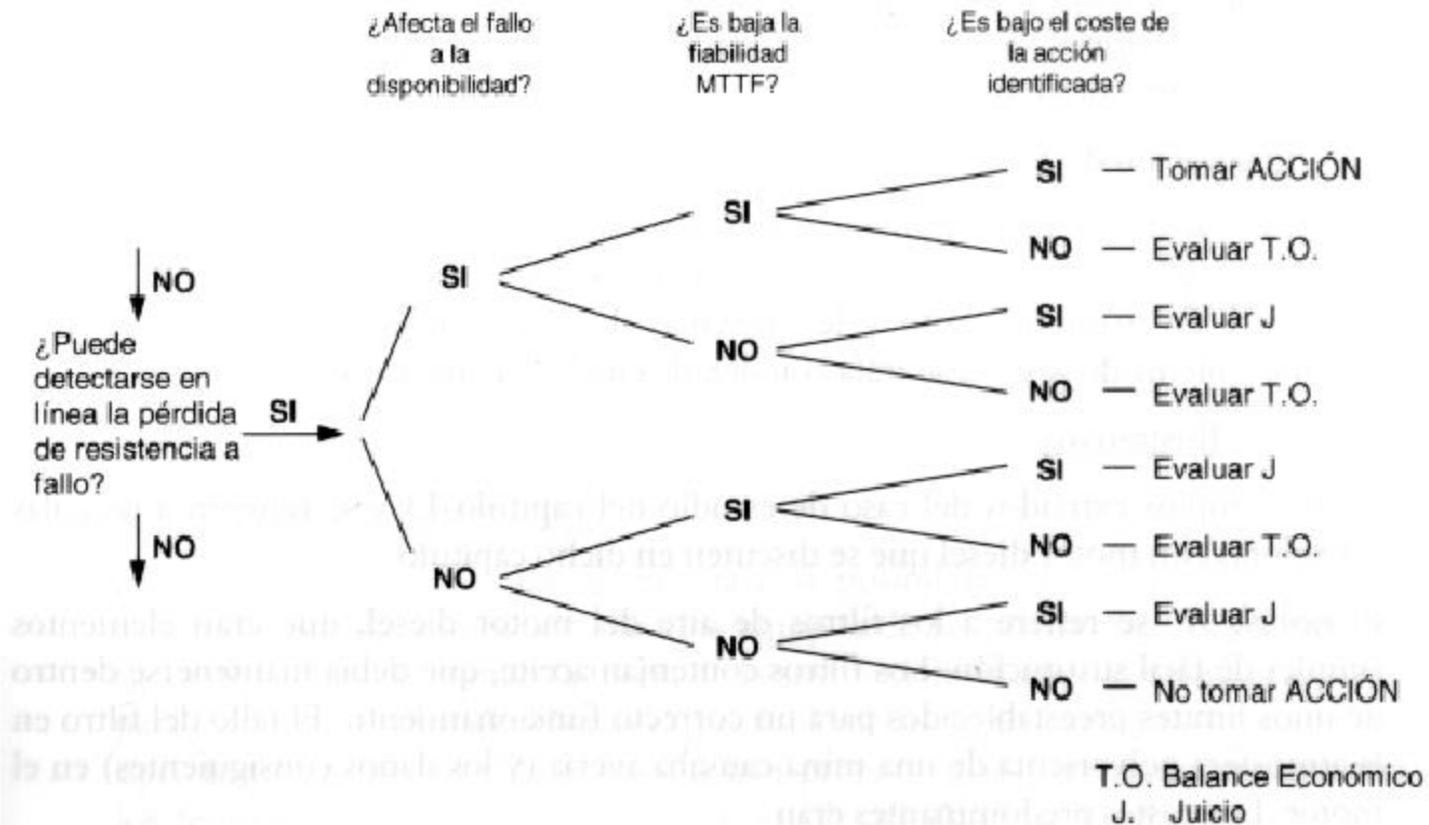
**DIAGRAMAS DE TOMA DE DECISIONES (I)**



**DIAGRAMAS DE TOMA DE DECISIONES (II)**



**DIAGRAMAS DE TOMA DE DECISIONES (III)**



**TÉCNICAS DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO**  
**(Según condición o estado)**

**Ventajas**

Más eficiente y flexible que cualquier otro tipo de mantenimiento

Se puede programar la parada del equipo con antelación al fallo

Se reducen la cantidad de piezas sustituidas innecesariamente

**Casos no convenientes**

No todas las causas de fallo de la planta pueden ser detectadas con antelación

Monitorización demasiado costosa en mano de obra y equipos

**APLICACIÓN**



Costes de monitorización < Reducción esperada de costes de mantenimiento y disponibilidad  
 Necesario por seguridad y medio ambiente



**TIPOS DE CONTROL**



CONTROL SIN INTERRUPCIÓN DE LA OPERACIÓN  
DEL EQUIPO



CONTROL QUE REQUIERE LA PARADA DEL  
EQUIPO O CON CONDICIONES DE  
FUNCIONAMIENTO DIFERENTES A LAS  
NORMALES



## TÉCNICAS DE CONTROL EN MARCHA

### 1. Inspección visual, acústica y táctil de los componentes accesibles



- i. Holgura de componentes no rotativos
- ii. Restos de material de desgaste o corrosión (uniones, remaches, juntas de fricción...)
- iii. Desplazamiento relativo dos componentes ( $100\mu\text{m}$ )



- iv. Laca frágil sobre una junta, desplazamiento relativo entre las dos partes
- v. Partes internas inaccesibles mediante técnicas ópticas



- vi. Movimiento de juntas con holgura, golpeteo



## TÉCNICAS DE CONTROL EN MARCHA

### 2. Control de temperatura

- i. Se monitorizan las variaciones de temperatura
- ii. Termómetros, termopares, termistores, pinturas, infrarrojos, etc.
  - Temperatura del lubricante a la salida del cojinete
  - Temperatura del agua de refrigeración de una máquina
  - ....



### 3. Control de lubricante

- i. Filtros magnéticos
- ii. Análisis del aceite y de los filtros
  - Desgaste de los engranajes e inicio de la fatiga (Análisis de la forma de las virutas)
  - ....



## TÉCNICAS DE CONTROL EN MARCHA

4. Detección de pérdidas
  - i. Varios métodos (Ej: agua jabonosa)

5. Monitorizado de vibraciones
  - i. Detecta gran cantidad de fallos
  - ii. Técnica mayoritariamente empleada
  - iii. Gran cantidad de información



- Vibraciones cerca de los cojinetes: Detecta y diferencia entre desequilibrio, desalineamiento, fallo de cojinetes, fallo de engranajes...
- Desgaste
- Cavtación
- ....



## TÉCNICAS DE CONTROL EN MARCHA

### 6. Control de ruidos

- i. Sonidos especiales (Ej: Fugas)
- ii. Análogo al control de vibraciones

### 7. Control de corrosión

- i. Cambio de la resistencia eléctrica de probetas de medida con la corrosión



## TÉCNICAS DE CONTROL EN PARADA

### 1. Inspección visual, acústica y táctil de los componentes en movimiento o inaccesibles



- i. Estado de la superficie de los dientes de los engranajes (sobrecarga, fatiga, desgaste, pobre lubricación,...)
- ii. ....

### 2. Detección de fisuras

- i. Líquidos penetrantes en las superficies de las fisuras (hasta 0,025  $\mu$ m a simple vista)
- ii. Pulverizado de partículas magnéticas
- iii. Resistencia eléctrica
- iv. Corrientes inducidas
- v. Ultrasonidos



## TÉCNICAS DE CONTROL EN PARADA

3. Detección de fugas
  - i. Ej: Mediante ultrasonidos
  
4. Ensayo de vibraciones
  - i. Respuesta del sistema ante una vibración
  
5. Control de corrosión
  - i. Instalación de probetas en el equipo, e inspección periódica (Ej: mediante ultrasonidos)



**TÉCNICAS DE CONTROL DE APLICACIÓN GENERAL**

CONTROL DE LUBRICANTES

CONTROL DE TEMPERATURA

MONITORIZACIÓN DE VIBRACIONES Y RUIDOS



## CONTROL DE LUBRICANTES

Residuos depositados (Partículas más grandes)

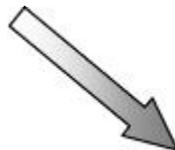


- FILTROS:** - Extracción del filtro  
- Análisis de los residuos

*Tamaño, contorno, composición*



Cambios en los componentes en contacto con el aceite



**COLECTORES MAGNÉTICOS:**

- Recogida de componentes ferrosos



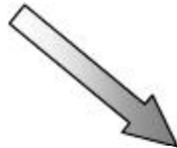
## CONTROL DE LUBRICANTES

Residuos en suspensión (Partículas más pequeñas)



### **ANÁLISIS CON ESPECTRÓMETRO:**

- Medida de concentración de partículas
- Velocidad de formación



### **ANÁLISIS FERROGRÁFICO:**

- Decantación de partículas magnéticas, distribuidas en función del tamaño
- Análisis de las partículas por concentración, tamaño, distribución y forma



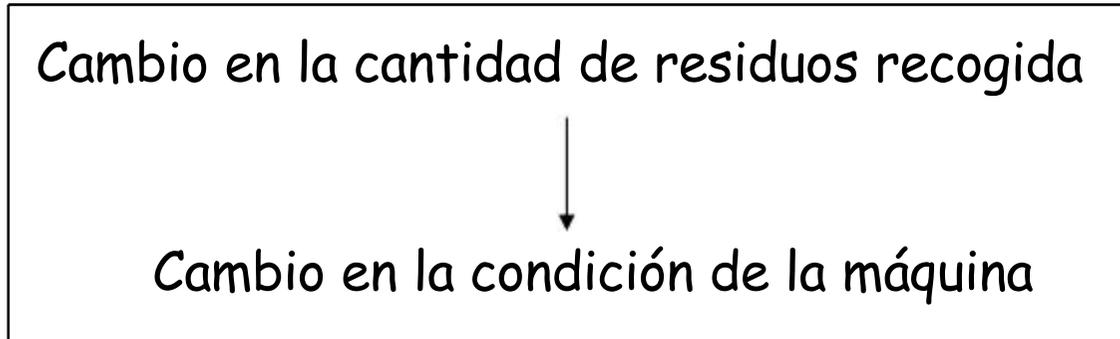
**CONTROL DE LUBRICANTES**

Estado del aceite usado

<i>Síntoma</i>	<i>Causas</i>	<i>Acción</i>
Espuma	Exceso de agitación o paso bajo presión a través de restricciones	Revisar el sistema
	Contaminación por detergentes	Cambiar el aceite
Emulsión		
Se separa naturalmente	Agua mezclada	Drenar el agua
Se separa con centrifugación	Agua mezclada	Cambiar el aceite
Color oscurecido	Oxidación del aceite	Cambiar el aceite
	Exceso de temperatura	
	Combustión o existencia de otros productos en el aceite	



**ANOMALÍAS DETECTADAS MEDIANTE EL CONTROL DE LUBRICANTES**



PUESTA EN MARCHA



% de residuos

VIDA NORMAL

% de residuos

composición

tamaño

forma



*CONSTANTES*



**ANOMALÍAS DETECTADAS MEDIANTE EL CONTROL DE  
LUBRICANTES**

Partículas normales

Planas

Partículas desprendidas por corte o abrasión

Espiral

Partículas producidas por fatiga

Angulares más largas



## CONTROL DE TEMPERATURA

### OBJETIVOS



Control manual de la temperatura de un proceso



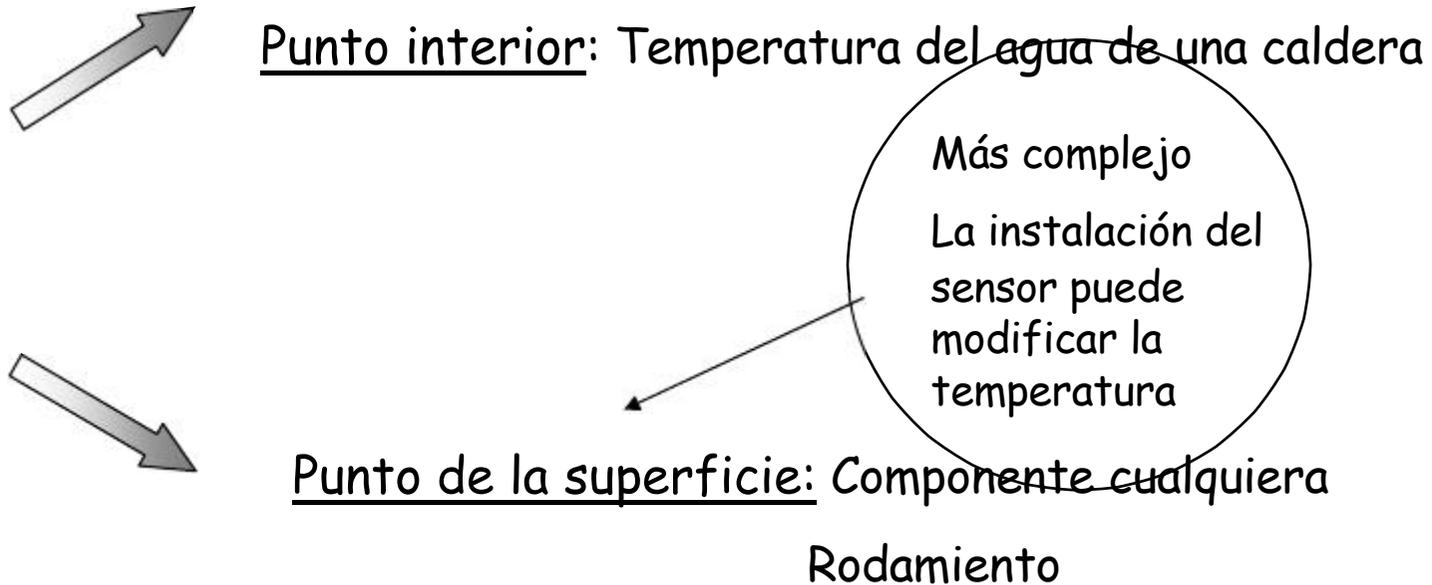
Detección de un incremento de generación de calor, producido por mal funcionamiento de algún componente



Detección de cambios en la transmisión de calor de la máquina al exterior



## LOCALIZACIÓN DE LAS MEDIDAS DE TEMPERATURA



## INSTRUMENTOS PARA EL CONTROL DE TEMPERATURA

### 1. Sensores de contacto

#### i. Basados en dilatación o expansión de líquidos

- Muy grandes, inadecuados para medidas superficiales
- Precisos, pero frágiles
- Para medidas a distancia

#### ii. Sensores bimetálicos de expansión

- Se pueden fabricar compactos
- Para temperaturas elevadas
- Menos precisos que los anteriores



## INSTRUMENTOS PARA EL CONTROL DE TEMPERATURA

### 1. Sensores de contacto

#### iii. Termopares

- Los más pequeños y adaptables
- Cobre, constantan, cromo alumen
- Gradientes de temperatura elevados y superficiales

#### iv. Termorresistencias

- Elementos que cambian su resistencia con la temperatura
- Ej: Medida de la temperatura del agua de recirculación en máquinas de combustión interna



## INSTRUMENTOS PARA EL CONTROL DE TEMPERATURA

2. Pinturas, testigos de color y bolas
3. Sensores sin contacto
  - i. Pirómetro óptico
  - i. Pirómetro de radiación
  - i. Cámara infrarroja

$$E = \sigma \sum T^4$$



## AVERÍAS DETECTABLES MEDIANTE CONTROL DE TEMPERATURA

Daños en rodamientos

Fallos de refrigeración

Incorrecta generación de calor en una máquina de combustión interna o una caldera

Depósito de material en lugares inadecuados

Daños en el aislamiento

Fallos en componentes eléctricos



## MONITORIZACIÓN DE VIBRACIONES Y RUIDOS

Todas las máquinas vibran



### RUIDOS

- Más fáciles de medir
- Interferencias por ruidos parásitos

### MICRÓFONO



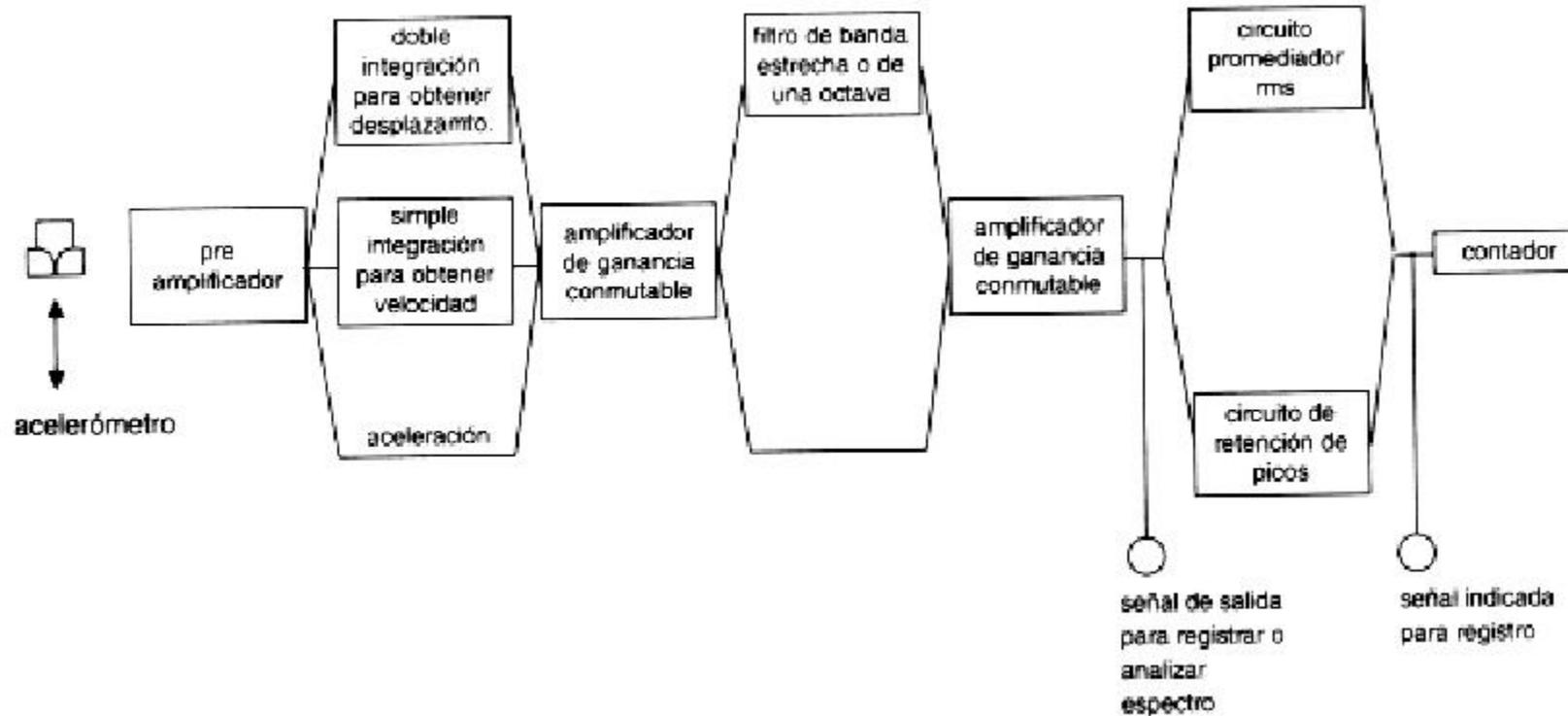
### VIBRACIONES

- Medida más selectiva y repetible
- La mayoría de las vibraciones están asociadas a partes mecánicas móviles

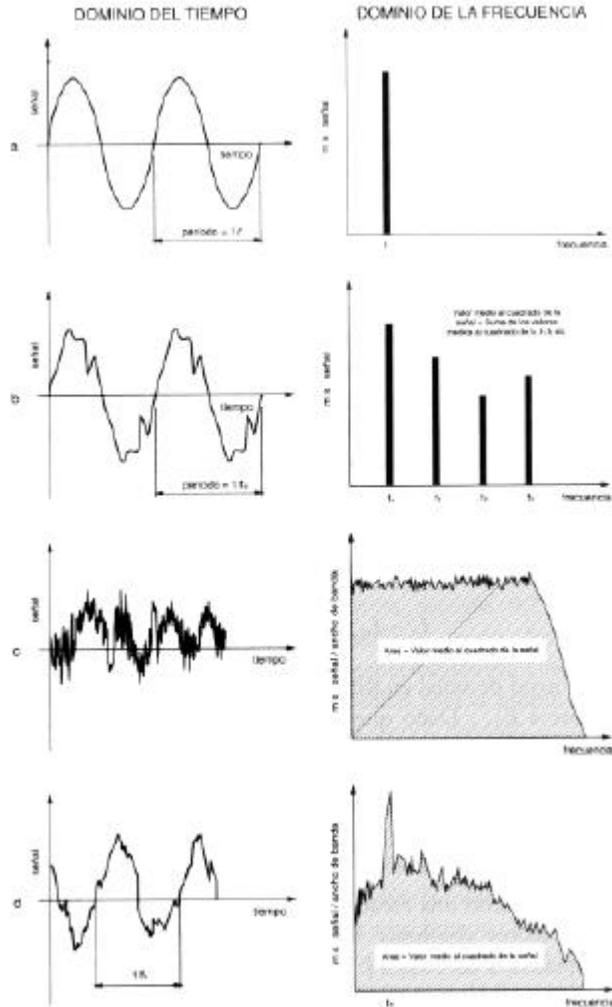
### ACELERÓMETRO PIEZOELÉCTRICO



# MONITORIZACIÓN DE VIBRACIONES Y RUIDOS



# SEÑALES DE RUIDO O VIBRACIÓN



$$V_{pico} = \sqrt{2} \cdot V_{r.m.s.}$$

$$V_{r.m.s.} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T V^2 dt}$$

$$(V_{r.m.s.}^T)^2 = \sum_n (V_{r.m.s.}^n)^2$$



## TÉCNICAS PRÁCTICAS DE MONITORIZACIÓN DE VIBRACIONES



Mediciones periódicas con instrumentos portátiles



Monitorización continua con instrumentos permanentes

*Transductores montados sobre elementos que transmitan la vibración adecuadamente, con frecuencia natural elevada*

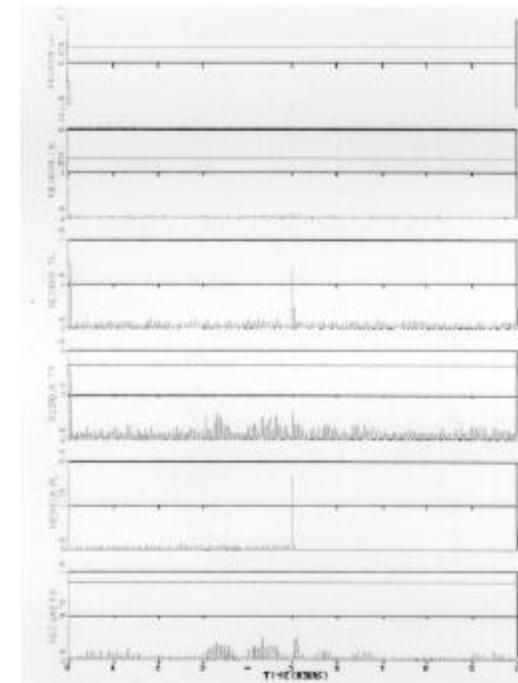
*Frecuencia de vibración asociada a un problema en concreto*

*Análisis de señales pico en elementos dañados que producen impulsos en la vibración*



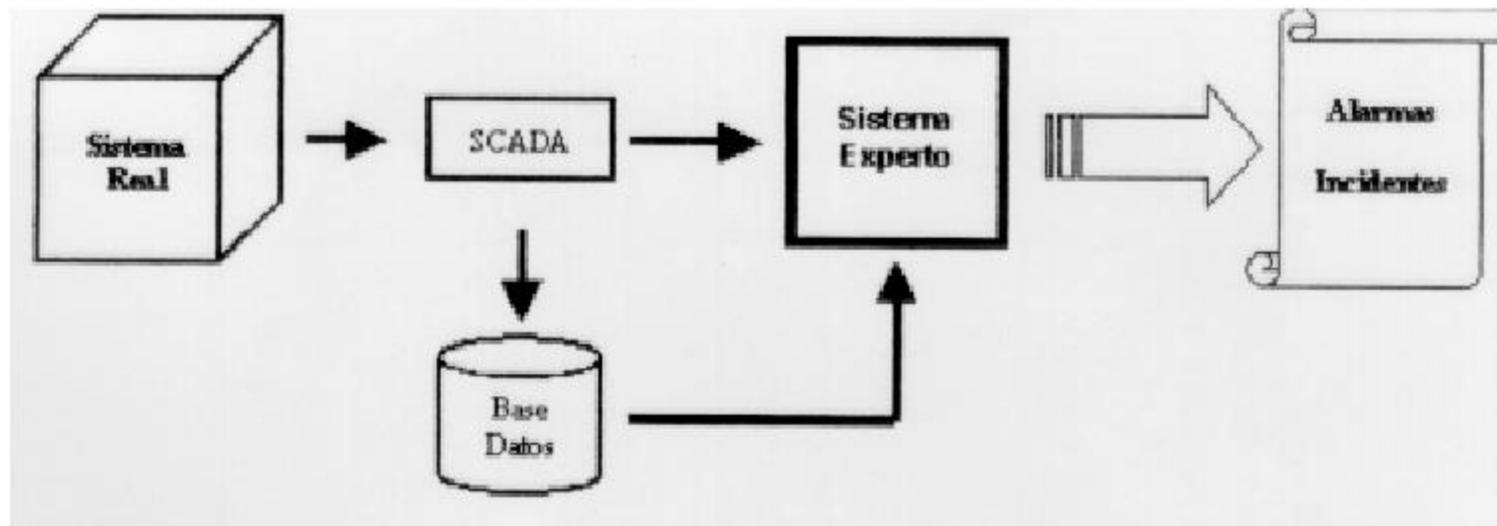
## MÉTODOS DE DIAGNÓSTICO EN EL MANTENIMIENTO PREDICTIVO

### Diagnóstico basado en modelos



## MÉTODOS DE DIAGNÓSTICO EN EL MANTENIMIENTO PREDICTIVO

Diagnóstico basado en sistemas expertos



## MÉTODOS DE DIAGNÓSTICO EN EL MANTENIMIENTO PREDICTIVO

Diagnóstico basado en redes neuronales

